Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 1, Mar.-Apr. 2024, p. 37-49

Effect of Deficit Irrigation on Yield, Fruit Quality and Water Use Efficiency of Grapes cv. Turkmen-4

M. Zokaee Khosroshahi[1*], K. Parvizi[2]

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran
(*- Corresponding Author Email: mreza.zokaee@malayeru.ac.ir)
2- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

Dates	How to cite this article:
Received: 13-01-2024 Revised: 28-01-2024 Accepted: 05-02-2024 Available Online: 05-02-2024	Zokaee Khosroshahi, M., & Parvizi, K. (2024). Effect of deficit irrigation on yield, fruit quality and water use efficiency of grapes cv. Turkmen-4. *Journal of Water and Soil*, 38(1), 37-49. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86374.1369

Introduction

Water is a critical factor for the growth and fruiting of the grapevines. Considering the water scarcity crisis in Iran and most parts of the world in recent years, it is necessary to apply methods such as deficit irrigation for the optimal management of water use in agriculture. It has been determined that by deliberately reducing water consumption in vineyards, it is possible to preserve the existing water resources and improve the water use efficiency.

Materials and Methods

A research was carried out in summer 2023 in a randomized complete block design with three replications on 8-year-old vines of the Turkmen-4 variety, to investigate the effect of deficit irrigation levels on the quantitative and qualitative traits and water use efficiency of grapevines. The vines were planted with 2 x 4 meter intervals, were trained as a vertical trellis on a bilateral cordon system, and the vineyard was irrigated by drip irrigation. The experimental treatments included full irrigation (providing 100% of vine water requirement; as control), 25% deficit irrigation (providing 75% of vine water requirement) and 50% deficit irrigation (providing 50% of vine water requirement). Irrigation of the vineyard started from May 22 and continued until November 6 at 7-day intervals, according to the conventional procedure. The water requirement of each vine in non-stressed condition was calculated by a class A evaporation pan based on reference crop evapotranspiration (ETo) and crop coefficient (Kc) throughout the season. Then, the amount of water for each treatment was determined according to the irrigation levels in the treatments and applied in volume form.

Results and Discussion

The amounts of water consumption of control, 25% and 50% deficit irrigation treatments were 5140, 3855 and 2570 m^3 per hectare, respectively. The results showed that irrigation levels had a significant effect on the berries length, berries diameter, cluster length, cluster width, berries weight, cluster weight, sugar percentage, chlorophyll index, relative water content, midday leaf water potential, vegetative growth, vine yield, yield index and water use efficiency. The 25% and 50% deficit irrigation treatments caused a decrease of 7.2% and 14.2% of the berry length

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86374.1369

compared to full irrigation, respectively. Also, these treatments caused a reduction of 8.3% and 13.9% of the berry diameter, respectively. While the 25% deficit irrigation treatment had no significant effect on the berries sugar content (°Brix), the 50% deficit irrigation treatment caused a significant decrease (5%) in sugar content compared to the control. Both relative water content and midday water potential of the leaves decreased significantly with the reduction of irrigation levels. Reducing the level of irrigation led to a significant decrease in the SPAD index and vine vegetative growth. Increasing the intensity of deficit irrigation had a significant negative effect on yield components including berry weight, cluster weight, vine yield and yield index. The highest and lowest yields were obtained from full irrigation and 50% deficit irrigation, respectively but the effect of 25% deficit irrigation on yield reduction was not significant. Although the 25% and 50% deficit irrigation treatments caused a 5.8% and 27.5% decrease in vine yield, respectively but these treatments increased water use efficiency by 34% and 44.5%, respectively compared to the control. The lowest water use efficiency was related to the control (3.53 kg of fresh fruit per cubic meter of water used), while the water use efficiency of vines under 25% and 50% deficit irrigation was 4.73 and 5.10 kg of fruit per cubic meter of water, respectively. The 25% and 50% deficit irrigation treatments had a statistically significant difference with the control in terms of water use efficiency, but the difference between the two was not significant.

Conclusion

In the present study, reducing the volume of irrigation water led to a decrease in vine yield, but what is important is the low yield reduction rate compared to the amount of water consumption. The decrease in vine yield was 5.8% and 27.5%, respectively with a 25% and 50% decrease in water consumption. Also, with 25% and 50% reduction in water consumption, the yield index decreased by 6.1% and 27.3%, respectively. Meanwhile, the water use efficiency of vines increased by 34% and 44.5% in response to 25% and 50% deficit irrigation treatments, respectively. It is recommended to apply 25% deficit irrigation to increase the water use efficiency of Turkmen-4 grapes in climatic conditions of Malayer, but 50% deficit irrigation leads to a decrease in quality of grapes.

Keywords: Drought stress, Grapevine, Irrigation, Water crisis, Water use management

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۳، ص.۴۹-۳۷

اثر کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی و کارایی مصرف آب انگور ترکمن ٤

محمدرضا زکائی خسروشاهی[۱*]- **خسرو پرویزی**[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده

با توجه به بحران کم‌آبی چند سال اخیر در کشور، اعمال روش‌هایی نظیر کم‌آبیاری برای مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی امری ضروری می‌نماید. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر صفات کمی، کیفی و کارایی مصرف آب تاک، این تحقیق در تابستان ۱۴۰۲ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بر روی تاک‌های ۸ ساله رقم ترکمن ۴ در یک تاکستان داربستی واقع در شهرستان ملایر اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری کامل (شاهد)، ۲۵ درصد کم‌آبیاری و۵۰ درصد کم‌آبیاری بود. نیاز آبی هر تاک در شرایط بدون تنش آبی، توسط تشت تبخیر کلاس A براساس تبخیر و تعرق مبنا (ETo) و ضریب گیاهی (Kc) در طول فصل محاسبه شده و میزان آب هر تیمار با توجه به دور و سطوح آبیاری در تیمارها تعیین و به صورت حجمی اعمال گردید. میزان مصرف آب در تیمارهای شاهد، ۲۵ درصد کم‌آبیاری و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، ۵۱۴۰، ۳۸۵۵ و ۲۵۷۰ متر مکعب در هکتار بود. نتایج نشان داد که سطوح آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر صفات قطر حبه، وزن خوشه، درصد قند، رشد رویشی و کارایی مصرف آب داشت. همچنین، تأثیر سطوح آبیاری بر طول حبه، طول خوشه، عرض خوشه، وزن حبه، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، پتانسیل آب نیمروز برگ، عملکرد تاک و شاخص عملکرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین میزان عملکرد به‌ترتیب، از آبیاری کامل و ۵۰ درصد کم‌آبیاری حاصل شد، اما اثر ۲۵ درصد کم‌آبیاری بر کاهش عملکرد معنی‌دار نبود. هرچند تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، موجب کاهش ۵/۸ و ۲۷/۵ درصدی عملکرد تاک گردید، اما کارایی مصرف آب با این تیمارها به‌ترتیب، ۳۴ و ۴۴/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش یافت. برای افزایش کارایی مصرف آب انگور ترکمن ۴ در شرایط اقلیمی ملایر، اعمال ۲۵ درصد کم‌آبیاری قابل توصیه است، اما تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری به کاهش کیفیت محصول منجر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بحران آب، تاک انگور، تنش خشکی، مدیریت مصرف آب

مقدمه

در کشوری مانند ایران که جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود (Mousavi *et al*., 2020) و با کمبود آب مواجه است، بدون شک اصلاح الگوی مصرف و استفاده بهینه از منابع می‌تواند تداوم تولید غذا را تضمین نماید. میانگین بارندگی ایران (حدود ۲۵۰ میلی‌متر) کمتر از یک‌سوم بارندگی جهان (۸۶۰ میلی‌متر) است (Kaboli *et al*., 2021). در چنین شرایطی، استفاده از روش‌های مدیریتی که بتوان بدون کاهش و یا با کاهش اندکی در عملکرد، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی را کاهش داد، اجتناب‌ناپذیر است. یکی از راهکارهای ارائه شده برای مدیریت بهتر آبیاری اجرای برنامه‌های کم‌آبیاری از طریق کاهش عامدانه مصرف آب به‌منظور بهبود کارایی مصرف آب و در عین حال، کاهش حداقلی کمیت و کیفیت محصول می‌باشد (Sun *et al*., 2023). کم‌آبیاری عبارت است از استفاده بهتر و

۱- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mreza.zokaee@malayeru.ac.ir)
۲- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
https://doi.org/10.22067/jsw.2024.86374.1369

بیشتر از واحد آب در تولید محصولات کشاورزی (Tong *et al*., 2021). از نکات مثبت کم‌آبیاری می‌توان به افزایش کارایی مصرف آب به علت مصرف کمتر آب، کاهش هزینه‌های جاری آبیاری و آب‌بها، و افزایش سطح زیر کشت آبی با آب مازاد اشاره نمود (Emdad, 2017). این تکنیک به سه روش قابل انجام است: ۱- کم‌آبیاری مداوم (SDI)[1]: کاهش حجم آبیاری در طول فصل رشد به جای آبیاری کامل درختان، ۲- کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI)[2]: کاهش یا حذف آبیاری در مراحل رشد و نموی غیرحساس به تنش خشکی، به‌منظور ذخیره آب برای مراحل حساس به تنش، ۳- خشکی موضعی ریشه (PRD)[3]: مدیریت مصرف آب در نواحی مختلف ریشه؛ یعنی آبیاری بخش‌های مختلف ریشه به صورت تناوبی.

در خصوص تأثیر کم‌آبیاری بر انگور تحقیقات زیادی در ایران و دنیا صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، طبق گزارش جلینی (Jolaini, 2006) اعمال ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، موجب کاهش ۱۳ و ۴۳ درصدی عملکرد رقم سلطانی شد و بیشترین کارایی مصرف آب با اعمال ۲۵ درصدی کم‌آبیاری (۱/۸۴ کیلوگرم انگور به ازای هر متر مکعب آب مصرفی) به‌دست آمد. تحقیقات دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2008) روی شش رقم انگور نشان داد علی‌رغم این که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد، اما بیشترین وزن خوشه در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید. در آزمایش دیگری، دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) دریافتند اگرچه کاهش آبیاری به کاهش عملکرد سه رقم قزل اوزوم، ریش‌بابا و رشه منجر گردید، اما اثر ۲۵ درصد کم‌آبیاری بر کاهش عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نبود. این در حالی بود که با کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب، بهره‌وری مصرف آب ۳۰ درصد افزایش یافت. نتایج تحقیقات سانتستبان و همکاران (Santesteban *et al*., 2011) مبنی بر اعمال کم‌آبیاری بر رقم تمپرانیلو[4] در اسپانیا در طی چهار سال نشان داد در سال اول با توجه به زمان اعمال کم‌آبیاری بعد از تشکیل میوه و بعد از تغییر رنگ حبه‌ها تأثیر معنی‌داری بر تعداد خوشه نداشت. عملکرد نهایی تحت تأثیر کم‌آبیاری کاهش یافت و بر میزان مواد جامد محلول تأثیر معنی‌داری نداشت، در حالی‌که اثر کم‌آبیاری بر عملکرد در سه سال بعد معنی‌دار گردید. در انگور رقم موناسترل[5] در اسپانیا میزان وزن خوشه تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفت و هر چه میزان آب دریافتی کاهش یافت، وزن خوشه‌ها کاهش نشان داد، به‌طوری‌که در گیاهان شاهد وزن خوشه از حدود ۳۰۰ گرم به حدود ۱۵۰ گرم کاهش یافت (Romero & Martinez-Cutillas, 2012). در پژوهشی روی رقم کابرنت ساویگنون[6] در استرالیا نشان داده شد که کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد منجر به کاهش معنی‌دار وزن خوشه گردید و هرچه شدت کم‌آبیاری بیشتر شد، وزن خوشه کاهش بیشتری نشان داد. همچنین، کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد میوه گردید و هرچه شدت کم‌آبیاری بیشتر شد، عملکرد در بوته کاهش بیشتری نشان داد. کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد منجر به تغییر معنی‌دار در مواد جامد محلول میوه گردید، اگرچه این تغییر بسته به سال افزایشی و یا کاهشی بود (Edwards & Clingeleffer, 2013). در آزمایشی که کم‌آبیاری (کاهش ۵۰ درصد آب) در سراسر فصل رشد بر روی رقم شیراز اعمال گردید، تیمار کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد باعث کاهش معنی‌دار وزن خوشه گردید (DeGaris *et al*., 2015). کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش معنی‌دار عملکرد میوه انگور رقم مرلوت[7] گردید (Herrera *et al*., 2015). در انگور رقم موناسترل میزان عملکرد میوه تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفت و هرچه میزان آب دریافتی کاهش یافت، عملکرد کاهش معنی‌دار نشان داد (Romero *et al*., 2015). مطالعات دیگری نیز حاکی از بهبود کیفیت میوه انگور (Ju *et al*., 2019; Lizama *et al*., 2021) و فرآورده‌های جانبی آن (Valdes *et al*., 2019; Duan *et al*., 2021) در نتیجه اعمال کم‌آبیاری هستند. با این حال، ارجی و همکاران (Arji *et al*., 2019) با توجه به اثرات منفی کاهش سطح آبیاری بر ویژگی‌های کمی و کیفی انگور یاقوتی (از جمله عملکرد، وزن خوشه و مواد جامد محلول حبه)، اعمال کم‌آبیاری در اقلیم گرم شهرستان سرپل ذهاب استان کرمانشاه را توصیه ننمودند.

با توجه به این که بیش از ۷۰ درصد آب قابل استحصال جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Lovarelli *et al*., 2016)، بدیهی است چنانچه با استفاده از مدیریت‌های کنترل شده علمی بتوان بدون کاهش معنی‌دار عملکرد محصول در مصرف آب بخش کشاورزی صرفه‌جویی کرد، امکان تعدیل و کنترل بحران‌های ناشی از خشکسالی میسر می‌باشد. در این ارتباط مدیریت کم‌آبیاری یک مدیریت مناسب و کارآمد به منظور ارتقای کارایی مصرف آب در تاکستان‌ها است که می‌تواند باعث کاهش مصرف آب و حفظ کیفیت میوه در شرایط محدودیت آب باشد. هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر عملکرد محصول، کیفیت میوه و همچنین، کارایی مصرف آب انگور ترکمن ۴ در شرایط اقلیمی شهرستان ملایر می‌باشد.

1- sustained deficit irrigation (SDI)
2- regulated deficit irrigation (RDI)
3- partial root-zone drying (PRD)
4- Tempranillo
5- Monastrell
6- Cabernet Sauvignon
7- Merlot

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و محل اجرای آزمایش

این طرح در تابستان ۱۴۰۲ بر روی تاک‌های ۸ ساله رقم ترکمن ۴ در یک تاکستان داربستی واقع در شهرستان ملایر (استان همدان) اجرا شد. تاکستان مورد آزمایش دارای مختصات جغرافیایی به طول ۴۸ درجه و ۹۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۶ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۹۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). بر اساس داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله ایستگاه هواشناسی ملایر، متوسط حداقل دمای سالانه در این منطقه ۶/۳ و متوسط حداکثر آن ۲۰/۷ درجه سلسیوس است. میانگین بارندگی سالانه ۳۳۲/۲ میلی‌متر است که ۳۵ درصد آن در بهار، ۲ درصد در تابستان، ۳۰ درصد در پاییز و ۳۳ درصد در زمستان می‌بارد. میانگین رطوبت نسبی هوا ۴۵ درصد و تبخیر پتانسیل سالانه ۲۰۱۰ میلی‌متر می‌باشد.

تاک‌ها با فواصل ۲×۴ متر کاشته شده، به روش کوردون دوطرفه تربیت شده بودند و سیستم آبیاری باغ قطره‌ای بود. تاک‌ها به‌صورت مختلط (کوتاه و بلند) هرس شده و سایر عملیات داشت از جمله تغذیه و کنترل علف‌های هرز باغ طبق عرف منطقه صورت گرفت. قبل از شروع آزمایش، از خاک باغ و آب آبیاری نمونه تهیه شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول‌های ۱ و ۲).

اجرای آزمایش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل سه تاک بود. تیمارهای آزمایش شامل ۱- تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی تاک (آبیاری کامل) به‌عنوان شاهد، ۲- تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی (۲۵ درصد کم‌آبیاری) و ۳- تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی (۵۰ درصد کم‌آبیاری) بود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل اجرای آزمایش

Figure 1- Geographical location of the experiment site

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک تاکستان قبل از آزمایش

Table 1- Some physicochemical characteristics of vineyard soil samples before the experiment

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	pH	آهک T.N.V (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	غلظت عناصر Minerals concentration (mg/kg)						
						نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	منگنز Mn	آهن Fe	روی Zn	مس Cu
0-30	sandy loam	1.09	7.76	22	0.16	980	5	136	2.6	2.4	1.7	0.5
30-60	sandy loam	1.12	7.88	19	0.17	1010	11	259	4.4	3.9	1.3	0.6

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی نمونه آب مورد استفاده برای آبیاری باغ

Table 2- Some chemical characteristics of water samples used for vineyard irrigation

نسبت جذب سدیم SAR	درصد سدیم محلول Soluble Spdium	غلظت املاح Solids concentration (meq/L)								pH	مجموع املاح محلول Total dissolved solids	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
		مجموع کاتیون‌ها Total cations	سدیم Na	کلسیم + منیزیم Ca+Mg	مجموع آنیون‌ها Total anions	سولفات Sulfate	کلر Cl	بی‌کربنات Bicarbonate	کربنات Carbonate			
0.51	10.5	10.45	1.10	9.35	10.45	0.90	2.20	7.35	0.0	7.42	669	1.045

آبیاری تاکستان طبق عرف منطقه، از اول خرداد شروع شده و تا میانه آبان ماه به فواصل ۷ روز صورت گرفت. برای آبیاری هر تاک از دو قطره‌چکان با دبی ۸ لیتر در ساعت که در ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری سطح زمین نصب شده‌اند، استفاده شد. نیاز آبی هر تاک (ETc) در شرایط بدون تنش آبی، توسط تشت تبخیر کلاس A (ساخت شرکت سیماب الکترونیک) براساس تبخیر و تعرق مبنا (ETo) و ضریب گیاهی (Kc) در طول فصل محاسبه شده و میزان آب هر تیمار با توجه به دور و سطوح آبیاری در تیمارها تعیین و به‌صورت حجمی اعمال گردید. نیاز آبی خالص در طول فصل بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد:

$$ETc = Kc \times ETo \qquad (۱)$$

بر اساس جدول ضرایب گیاهی منفرد ارائه شده توسط علیزاده و کمالی (Alizadeh & Kamali, 2008)، ضریب گیاهی انگور ۰/۸۵ در نظر گرفته شد. مقدار تبخیر و تعرق روزانه مبنا (ETo) طبق رابطه ۲ برآورد گردید.

$$ETo = K_p \times E_p^{0.8522} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق، K_p ضریب تشت و E_p مقادیر روزانه تبخیر از تشت می‌باشد. ضریب تشت عدد ثابت ۰/۶۶ (ضریب مورد استفاده برای کارهای عملی) در نظر گرفته شد (Alizadeh & Kamali, 2008). سپس، با اعمال ضریب گیاهی، مقدار تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شد. با توجه به سن تاک و درصد سایه‌انداز، تبخیر و تعرق به‌دست آمده با استفاده از رابطه ۳ تعدیل گردید:

$$T_e = ETc[P_s + 0.15\ (1-P_s)] \qquad (۳)$$

که در آن، T_e تبخیر و تعرق تعدیل شده و P_s درصد پوشش گیاهی می‌باشد که با اندازه‌گیری سطح سایه‌انداز و آرایش کاشت (فواصل ۴×۲ متر) تعیین می‌شود. نیاز ناخالص آبیاری با کسر باران مؤثر از مقدار آب مورد نیاز درخت و در نظر گرفتن راندمان آبیاری (۹۰ درصد) محاسبه گردیده و مقدار آب مورد نیاز تیمارهای آبیاری با توجه به درصد کم‌آبیاری برآورد شد. به‌طور کلی، مقدار آب مصرفی هر تاک در طول فصل رشد برای تیمار شاهد ۴/۱۱ متر مکعب بود و بر همین اساس، برای تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری، به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۲/۰۶ متر مکعب برای هر تاک مصرف گردید. حجم آب مصرف تاک‌ها با تغییر تعداد ساعت‌های آبیاری تنظیم گردید.

ارزیابی و اندازه‌گیری صفات

در اوایل مرداد، یک روز قبل از آبیاری، میزان کلروفیل کل (شاخص SPAD) به کمک دستگاه کلروفیل‌سنج قابل حمل (مدل CL-01، شرکت Hansatech، انگلستان) بر روی برگ‌های بالغ واقع در گره‌های ۱۰-۸ قاعده شاخه‌های بارده اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ به روش کیرناک و همکاران (Kirnak *et al*., 2001) و پتانسیل آب برگ نیمروز (Ψ_l) توسط دستگاه محفظه فشار (شرکت زیست ایده‌آل گستر، ایران) اندازه‌گیری شد. در اواخر مرداد، میوه‌های مربوط به هر تیمار به‌صورت جداگانه برداشت و صفات کمی و کیفی میوه ارزیابی گردید. طول و قطر حبه و طول و عرض خوشه به کمک کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. وزن ۲۰ حبه، وزن خوشه و عملکرد تاک از طریق توزین با ترازوی دقیق تعیین گردید. اسیدیته کل (پی‌اچ) با دستگاه pHمتر رومیزی (مدل ۸۶۵۰۲، شرکت AZ، تایوان)، اسید قابل تیتراسیون به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالئین و درصد قند (درجه بریکس) حبه با دستگاه رفرکتومتر (مدل LH-T80، شرکت ATC، چین) اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم میوه تازه به ازای متر مکعب آب مصرفی و شاخص عملکرد بر حسب کیلوگرم میوه به ازای سانتی‌متر مربع سطح مقطع عرضی تنه تاک محاسبه شد. رشد رویشی تاک‌ها با توزین شاخه‌های هرس شده هر تاک در پاییز به‌دست آمد.

تجزیه آماری

داده‌های به‌دست آمده به کمک نرم‌افزار SAS-9.4 تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین اثر تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد. در صورت لزوم، برای آزمایش فرض نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro–Wilk test) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورد ارزیابی انگور ترکمن ٤

Table 3- ANOVA results of the effect of deficit irrigation treatments on investigated traits of Turkmen-4 grapes

منابع تغییر S.O.V		تیمار Treatment	بلوک Block	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)
درجه آزادی Df		2	2	4	-
میانگین مربعات Mean squares	طول حبه Berry length	3.88 *	2.46 *	0.23	3.20
	قطر حبه Berry diameter	1.89 **	0.20 ns	0.07	2.44
	طول خوشه Cluster length	11.78 *	0.18 ns	1.29	5.51
	عرض خوشه Cluster width	6.16 *	1.98 ns	0.65	6.32
	اسیدیته کل pH	0.097 ns	0.213 ns	0.037	5.79
	اسید قابل تیتراسیون Titratable acid	0.005 ns	0.000 ns	0.002	6.03
	قند حبه Beery sugars	1.25 **	0.27 *	0.026	7.00
	شاخص کلروفیل SPAD index	10.94 *	1.81 ns	1.26	7.26
	محتوای نسبی آب Relative water content	107.99 *	7.99 ns	10.56	3.74
	پتانسیل آب برگ Leaf water potential	0.028 *	0.004 ns	0.003	4.17
	رشد رویشی Vegetative growth	0.73 **	0.004 ns	0.017	4.55
	وزن ۲۰ حبه 20 berries weight	45.53 *	2.66 ns	5.41	6.96
	وزن خوشه Cluster weight	10108 **	2236 *	281.3	3.06
	عملکرد تاک Vine yield	13.16 *	1.19 ns	0.75	6.73
	شاخص عملکرد Yield index	0.03 *	0.00 ns	0.002	7.35
	کارایی مصرف آب Water use efficiency	2.01 **	0.05 ns	0.09	6.59

ns، * و **: به‌ترتیب، غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant and significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

براساس این نتایج، تیمارهای کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته کل و اسید قابل تیتراسیون حبه نداشت، در حالی‌که اثر تیمارها بر صفاتی مثل قطر حبه، محتوای قند حبه، وزن خوشه، رشد رویشی تاک و کارایی مصرف آب تاک در سطح احتمال ۱ درصد و بر سایر صفات ارزیابی شده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.

ابعاد حبه و خوشه

کاهش سطح آبیاری به کاهش معنی‌دار ابعاد حبه انگور منجر شد (جدول ۴). تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، موجب کاهش ۷/۲ و ۱۴/۲ درصدی طول حبه در مقایسه با آبیاری کامل گردید، هرچند فقط اختلاف تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری با شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، باعث کاهش ۸/۳ و ۱۳/۹ درصدی قطر حبه در مقایسه با شاهد گردید و اختلاف هر دو تیمار با شاهد معنی‌دار بود. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، کاهش قطر حبه سه رقم قزل اوزوم، ریش بابا و رشه در واکنش به اعمال کم‌آبیاری توسط دولتی بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) نیز گزارش شده است. در انگور زینوماورو[1]، کم آبیاری باعث کاهش اندازه حبه شد (Alatzas et al., 2023). با این حال، اندازه حبه رقم کابرنت ساویگنون تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری قرار نگرفت (Duan et al., 2021).

1- Xinomavro

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات کمی و کیفی انگور ترکمن ٤ تحت تیمارهای مختلف کم‌آبیاری

Table 4- Comparing the averages of quantitative and qualitative traits of Turkmen-4 grapes under different treatments of deficit irrigation

صفت Traits	تیمارهای کم‌آبیاری Deficit irrigation treatments		
	شاهد (آبیاری کامل) Control (full irrigation)	۲۵ درصد کم‌آبیاری 25% deficit irrigation	۵۰ درصد کم‌آبیاری 50% deficit irrigation
طول حبه Berry length (mm)	13.73 ± 1.20 b	14.85 ± 0.70 ab	13.73 ± 1.20 b
قطر حبه Berry diameter (mm)	9.80 ± 0.15 b	10.44 ± 0.24 b	9.80 ± 0.15 b
طول خوشه Cluster length (mm)	18.73 ± 0.68 b	20.42 ± 1.12 b	18.73 ± 0.68 b
عرض خوشه Cluster width (mm)	11.25 ± 1.07 b	12.88 ± 0.98 ab	11.25 ± 1.07 b
اسیدیته pH	3.47 ± 0.28 a	3.38 ± 0.35 a	3.47 ± 0.28 a
اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity (%)	0.64 ± 0.05 b	0.67 ± 0.03 ab	0.64 ± 0.05 b
قند حبه Berry sugars (°Brix)	22.20 ± 0.36 b	23.27 ± 0.31 a	22.20 ± 0.36 b
کلروفیل Chlorophyll (SPAD index)	13.75 ± 1.03 b	15.11 ± 1.05 b	13.75 ± 1.03 b
رشد رویشی Vegetative growth (kg)	2.34 ± 0.13 c	2.89 ± 0.09 b	2.34 ± 0.13 c
محتوای نسبی آب Relative water content (%)	80.7 ± 2.9 b	87.3 ± 4.0 a	80.7 ± 2.9 b
پتانسیل آب نیمروز برگ Midday laef water potential (MPa)	-1.34 ± 0.08 b	-1.20 ± 0.05 a	-1.34 ± 0.08 b
وزن ۲۰ حبه 20 berries weigth (g)	29.67 ± 1.91 b	33.20 ± 1.69 b	29.67 ± 1.91 b
وزن خوشه Cluster weigth (g)	482.3 ± 36.1 b	565.7 ± 26.4 a	482.3 ± 36.1 b
عملکرد تاک Vine yield (kg vine $^{-1}$)	10.49 ± 0.64 b	13.62 ± 0.95 a	10.49 ± 0.64 b
شاخص عملکرد Yield index (kg per cm^2)	0.48 ± 0.03 b	0.62 ± 0.05 a	0.48 ± 0.03 b
کارایی مصرف آب Water use efficiency (kg per m^3)	5.10 ± 0.31 a	4.73 ± 0.33 a	5.10 ± 0.31 a

* در هر ردیف، میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر دارند.

* In each row, the averages with dissimilar letters have a statistically significant difference at $p \leq 0.01$.

طول و عرض خوشه انگور به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت (جدول ۴). تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری طول خوشه را به‌ترتیب، به میزان ۱۰/۹ و ۱۷/۴ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش داد و اختلاف آماری هر دو تیمار با شاهد معنی‌دار بود. همچنین، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، به کاهش ۸/۷ و ۲۰/۳ درصدی عرض خوشه در مقایسه با شاهد منجر گردید، هرچند فقط اختلاف تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری با شاهد معنی‌دار بود. همسو با نتایج مطالعه حاضر، کاهش عرض خوشه در واکنش به اعمال کم‌آبیاری توسط دولتی بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) نیز گزارش شده است.

صفات کیفی حبه

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، اعمال کم‌آبیاری موجب کاهش اسیدیته (افزایش پی‌اچ) و کاهش اسید قابل تیتراسیون حبه شد، اما بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری از نظر اسیدیته مشاهده نمی‌شود. همچنین، تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر اسید قابل تیتراسیون میوه نداشت، اما تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری به کاهش معنی‌دار میزان اسید حبه در مقایسه با شاهد منجر گردید. همسو با این یافته‌ها، کاهش مقدار اسید و افزایش پی‌اچ حبه انگور در واکنش به اعمال کم‌آبیاری توسط محققان مختلف گزارش شده است (Doulati Baneh & Nourjou, 2012; Fattahi-Naghani *et al.*, 2019; Duan *et al.*, 2021) که به نظر می‌رسد دلیل آن تجزیه اسیدهای آلی حبه باشد. از سوی دیگر، کاهش آبیاری تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته و مواد جامد محلول حبه‌های رقم یاقوتی نداشت (Arji *et al.*, 2019).

در حالی‌که تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر درصد قند (درجه بریکس) حبه نداشت، تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار (۵ درصدی) محتوای قند حبه در مقایسه با شاهد شد. همسو با نتایج این پژوهش، کم‌آبیاری در انگورهای سیراه[1] (Bassoi *et al*., 2021) و ریفوسک[2] (Calderan *et al*., 2021) به کاهش مواد جامد محلول حبه منجر گردید. کاهش محتوای قند حبه در شرایط تنش آبی ممکن است به دلیل کاهش فتوسنتز و تولید مواد قندی در شرایط تنش آبی باشد. دو و همکاران (Du *et al*., 2008) گزارش کردند که تنش آبی باعث کندی رشد، تأخیر در رسیدگی میوه و کاهش کیفیت میوه می‌شود. پرز–آلوارز و همکاران (Perez-Alvarez *et al*., 2021) نشان دادند که کم‌آبی می‌تواند زمان آغاز و طول دوره رسیدن میوه انگور را تحت تأثیر قرار دهد. مشخص شده است که وضعیت آب تاک بر ظرفیت فتوسنتز تاک تأثیر می‌گذارد و بنابراین، غلظت پایین مواد جامد محلول در تیمارهای کم‌آبیاری می‌تواند به این دلیل باشد که تنش آبی باعث کاهش سرعت جذب خالص و در نتیجه، کاهش تجمع قندها در طول دوره رسیدن میوه می‌شود (Santesteban *et al*., 2017). به هر حال، در منابع علمی، گزارشات متناقضی در رابطه با تغییرات قند حبه ارقام مختلف انگور در واکنش به کم‌آبیاری وجود دارد. دی‌وایو و همکاران (Di Vaio *et al*., 2001) گزارش کردند کم‌آبیاری به کاهش درصد قند رقم کابرنت ساویگنون منجر می‌شود. در گزارش دیگری، کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد منجر به تغییرات معنی‌دار مواد جامد محلول میوه رقم کابرنت ساویگنون گردید، هرچند این تغییر بسته به سال افزایشی و یا کاهشی بود (Edwards & Clingeleffer, 2013). اگرچه یوریارت و همکاران (Uriarte *et al*., 2016) نشان دادند تیمارهای کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول حبه رقم تمپرانیلو ندارد، در تحقیقات دولتی بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) روی سه رقم قزل اوزوم، ریش بابا و رشه نیز کم‌آبیاری به افزایش محتوای قند حبه منجر شد. در انگور کابرنت ساویگنون نیز کم‌آبیاری موجب افزایش محتوای قندهای حبه گردید (Duan *et al*., 2021). ما و همکاران (Ma *et al*., 2023) افزایش ۸/۸ درصدی محتوای قند حبه را در اثر کاهش آبیاری در رقم چاردونای[3] گزارش نمودند. این تناقض ممکن است به دلیل تفاوت در شدت تنش رطوبتی به کار رفته در آزمایشات مختلف باشد. میراس–آوالوس و اینتریگلیولو (Miras-Avalos & Intrigliolo, 2017) به این نتیجه رسیدند که درجه معینی از تنش آبی (تا پتانسیل اسمزی ۱/۳– مگاپاسکال) برای تجمع قند در انگور مفید است، اما زمانی‌که این آستانه فراتر رفت، مواد جامد محلول حبه کاهش یافت.

وضعیت آبی گیاه

همانطور که نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد، محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب نیمروز برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت. تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ را به‌ترتیب، به میزان ۵/۸ و ۳/۴ درصد کاهش داد، هرچند اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود. تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب به کاهش ۱۲/۹ و ۱۵/۵ درصدی محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ در مقایسه با آبیاری کامل منجر شد و در هر دو صفت اختلاف آن با شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. همسو با نتایج پژوهش حاضر، اعمال کم‌آبیاری (با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ انگور عسکری شد (Fattahi-Naghani *et al*., 2019). همچنین، باسوی و همکاران (Bassoi *et al*., 2021) منفی‌تر شدن پتانسیل آب (قبل از طلوع آفتاب و نیمروز) برگ انگور سیراه در نتیجه اعمال کم‌آبیاری را گزارش کردند که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید. وضعیت آبی گیاه ارتباط مستقیم با مقدار آب در دسترس ریشه‌ها دارد و از آنجایی که رطوبت پیرامون ریشه‌ها با کاهش حجم آبیاری تغییر می‌یابد، وضعیت آبی گیاه نیز تحت تأثیر تیمار کم‌آبیاری دستخوش تغییر می‌شود. برتامینی و همکاران (Bertamini *et al*., 2006) گزارش کردند که کمبود آب در گیاه انگور موجب کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود.

شاخص کلروفیل و رشد رویشی

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، کاهش سطح آبیاری به کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل برگ (شاخص SPAD) منجر گردید. تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب موجب کاهش ۱۳/۸ و ۲۱/۵ درصدی کلروفیل برگ در مقایسه با آبیاری کامل شدند و اختلاف هر دو تیمار با شاهد معنی‌دار بود. همسو با نتایج پژوهش حاضر، کاهش میزان کلروفیل برگ انگور در نتیجه کاهش آبیاری توسط برتامینی و همکاران (Bertamini *et al*., 2006) نیز گزارش شده است. همچنین، کم‌آبیاری به کاهش معنی‌دار رشد رویشی تاک منجر گردید که با نتایج پرز–آلوارز و همکاران (Perez-Alvarez *et al*., 2021) و مارتینز–مورنو و همکاران (Martinez-Moreno et al., 2023) مبنی بر کاهش وزن هرس متناسب با کاهش میزان مصرف آب همخوانی دارد. در پژوهش حاضر، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری رشد رویشی تاک را به‌ترتیب، ۱۳/۲ و ۲۹/۷ درصد در مقایسه با آبیاری کامل کاهش دادند. با کاهش سطح آبیاری کاهش بیشتری در رشد رویشی تاک‌ها مشاهده گردید، به‌طوری‌که اختلاف بین دو تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری از نظر آماری معنی‌دار بود. این یافته‌ها حاکی از آن هستند

1- Syrah
2- Refosk
3- Chardonnay

که محتوای کلروفیل برگ و قدرت رشد رویشی تاک بسیار حساس به تنش آبی بوده و تحت تأثیر سطح آبیاری قرار می‌گیرند.

تنش کم‌آبی یکی از عوامل محدود کننده رشد در گیاهان است. نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که هر چه حجم آبیاری کاهش یابد، وزن هرس به‌عنوان شاخصی از قدرت رشد رویشی تاک کاهش بیشتری نشان می‌دهد. در انگور رقم موناسترل میزان وزن شاخه‌های هرش شده با افزایش شدت تنش خشکی کاهش معنی‌دار نشان داد (Romero & Martinez-Cutillas, 2012). کاهش رشد رویشی شاخه‌ها در واکنش به اعمال کم‌آبیاری توسط دولتی بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) و ارجی و همکاران (Arji *et al*., 2019) نیز گزارش شده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت می‌نماید. بدیهی است که وجود آب کافی برای تقسیم و انبساط سلول های گیاهی ضرورت دارد و در صورت محدودیت تقسیم و انبساط سلولی در شرایط تنش آبی، رشد رویشی نیز کاهش خواهد یافت.

اجزای عملکرد (وزن حبه، وزن خوشه، عملکرد تاک و شاخص عملکرد)

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، میانگین وزن حبه و خوشه انگور ترکمن ۴ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری کاهش یافت. تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، به کاهش ۱۱/۳ و ۲۰/۸ درصدی میانگین وزن ۲۰ حبه در مقایسه با شاهد گردید. همچنین، میانگین وزن خوشه در اثر تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، به میزان ۴/۸ و ۱۸/۸ درصد کاهش یافت، هرچند فقط اختلاف تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری با شاهد معنی‌دار بود. همسو با نتایج پژوهش حاضر، فتاحی ناغانی و همکاران (Fattahi-Naghani *et al*., 2019) نشان دادند که کم‌آبیاری باعث کاهش وزن حبه انگور عسکری شد. همچنین، پرز-آلوارز و همکاران (Perez-Alvarez *et al*., 2021) کاهش وزن حبه رقم بوبال[1] در اثر کم‌آبیاری (تأمین فقط ۳۵ درصد نیاز آبی تاک) را گزارش نمودند. به همین ترتیب، کاهش وزن حبه و وزن خوشه در واکنش به اعمال کم‌آبیاری توسط دولتی بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012)، ارجی و همکاران (Arji *et al*., 2019)، باسوی و همکاران (Bassoi *et al*., 2021) و آلاتزاس و همکاران (Alatzas et al., 2023) نیز گزارش شده است. تحقیقات دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2008) روی شش رقم انگور نشان داد علی‌رغم این که بیشترین عملکرد میوه در تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد، اما بیشترین وزن خوشه در تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده گردید. نویسندگان دلیل این امر را افزایش رشد رویشی بوته‌ها در شرایط آبیاری کامل عنوان نمودند. از طرفی دیگر، ریزش گل و حبه‌های انگور در مرحله تشکیل میوه در بوته‌هایی با رشد رویشی زیاد بیشتر می‌گردد. بنابراین، وزن خوشه در بوته‌هایی که آب کمتری دریافت نموده‌اند، افزایش می‌یابد. در انگور رقم موناسترل در اسپانیا میزان وزن خوشه تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفت و هر چه میزان آب دریافتی کاهش یافت، وزن خوشه‌ها کاهش نشان داد، به‌طوری‌که در گیاهان شاهد وزن خوشه از ۳۰۰ گرم به ۱۵۰ گرم کاهش یافت (Romero & Martinez-Cutillas, 2012). نتایج پژوهشی بر روی رقم کابرنت ساویگنون در استرالیا نشان داد کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد منجر به کاهش معنی‌دار وزن خوشه گردید و هرچه شدت کم‌آبیاری بیشتر شد، وزن خوشه کاهش بیشتری نشان داد (Edwards & Clingeleffer, 2013). در انگور رقم شیراز، تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد باعث کاهش معنی‌دار وزن خوشه گردید (DeGaris *et al*., 2015).

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان می‌دهد که عملکرد تاک (کیلوگرم میوه در هر تاک) و شاخص عملکرد (کیلوگرم میوه به ازای سطح مقطع تنه) هر دو تحت تأثیر کاهش حجم آبیاری کاهش یافت. این یافته‌ها با نتایج مطالعه پرز-آلوارز و همکاران (Perez-Alvarez *et al*., 2021) روی انگور بوبال و آلاتزاس و همکاران (Alatzas *et al*., 2023) روی رقم زینوماورو مطابقت داد که دریافتند عملکرد تاک با کاهش رطوبت در دسترس آن کاهش می‌یابد، اگرچه پاسخ گیاه بسته به شرایط اقلیمی، میزان آبیاری (شدت تنش) و طول دوره تنش متفاوت است. در پژوهش حاضر، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، به کاهش ۵/۸ و ۲۷/۵ درصدی عملکرد تاک در مقایسه با آبیاری کامل منجر شد. همچنین، شاخص عملکرد تحت تأثیر تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، به میزان ۶/۱ و ۲۷/۳ درصد کاهش یافت. در هر دو صفت، تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت، اما اختلاف تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری با شاهد معنی‌دار بود. با افزایش شدت کم‌آبیاری، نرخ کاهش عملکرد نیز افزایش یافت. بنابراین، جهت حصول تولید مناسب بایستی در اعمال مقادیر بیشتر تنش آبی با احتیاط عمل نمود. با توجه به این که کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد نشد، جهت استفاده بهینه از منابع آب، اعمال ۲۵ درصد کم‌آبیاری با اطمینان کافی قابل توصیه می‌باشد. قبلاً نیز ۲۵ درصد کم‌آبیاری برای افزایش کارایی مصرف آب در تاکستان‌های منطقه مشهد توسط جلینی (Jolaini, 2006) و آذربایجان غربی توسط دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) توصیه شده است.

همسو با نتایج پژوهش حاضر، تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی تاک به کاهش معنی‌دار عملکرد انگور عسکری منجر شد (Fattahi-Naghani *et al*., 2019). دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) دریافتند اگرچه کاهش آبیاری به کاهش عملکرد سه رقم قزل

1- Bobal

اوزوم، ریش‌بابا و رشه منجر گردید، اما اثر ۲۵ درصد کم‌آبیاری بر کاهش عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نبود. کم‌آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد میوه رقم کابرنت ساویگنون گردید و هرچه شدت کم‌آبیاری بیشتر شد، عملکرد در بوته کاهش بیشتری نشان داد (Edwards & Clingeleffer, 2013). اعمال کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش معنی‌دار عملکرد ارقام کشمشی (Jolaini, 2006)، مرلوت (Herrera *et al*., 2015)، موناسترل (Romero *et al*., 2015) و یاقوتی (Arji *et al*., 2019) گردید. با توجه به کاهش میانگین وزن حبه در اثر تیمارهای کم‌آبیاری که در پژوهش حاضر مشاهده گردید، به‌نظر می‌رسد کاهش عملکرد عمدتاً ناشی از کاهش اندازه حبه در شرایط تنش آبی می‌باشد. پرز–آلوارز و همکاران (Perez-Alvarez *et al*., 2021) همبستگی بالای عملکرد با وزن حبه تاک‌های تحت کم‌آبیاری را گزارش کردند که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید. به عقیده دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012)، در شرایط کم‌آبیاری حجم سلول‌های میوه کمتر از شرایط طبیعی است و همچنین به دلیل رشد رویشی کم، سطح برگی تاک و در نتیجه، مقدار مواد فتوسنتزی کمتر از شرایط آبیاری کامل می‌باشد و این یکی از دلایل کاهش وزن میوه و عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی می‌باشد.

کارایی مصرف آب

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، کاهش حجم آبیاری به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب انگور ترکمن ۴ منجر شد. کمترین کارایی مصرف آب مربوط به تیمار شاهد بود (۳/۵۳ کیلوگرم میوه تازه بر متر مکعب آب مصرفی)، در حالی‌که کارایی مصرف آب تاک‌های تحت ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، ۴/۷۳ و ۵/۱۰ کیلوگرم میوه بر متر مکعب آب بود. به بیانی دیگر، تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، موجب افزایش ۳۴/۰ و ۴۴/۵ درصدی کارایی مصرف آب شدند. این تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری با شاهد داشتند، اما اختلاف آن دو با یکدیگر معنی‌دار نبود. همسو با نتایج پژوهش حاضر، در آزمایشی روی نهال‌های جوان انگور کشمش، کارایی مصرف آب با تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل به‌ترتیب، ۱۷ و ۹ درصد بیشتر بوده است (Jolaini, 2006). فتاحی ناغانی و همکاران (Fattahi-Naghani *et al*., 2019) نیز گزارش کردند که در رقم عسکری، کارایی مصرف آب تاک با اعمال تنش کم‌آبی افزایش یافت. همچنین، دولتی‌بانه و نورجو (Doulati Baneh & Nourjou, 2012) دریافتند که با کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب در سه رقم قزل اوزوم، ریش‌بابا و رشه، کارایی مصرف آب ۳۰ درصد افزایش یافت. در انگور بوبال نیز کارایی مصرف آب تاک با افزایش میزان مصرف آب کاهش یافت (Perez-Alvarez *et al*., 2021). نتایج تحقیقات باسوی و همکاران (Bassoi *et al*., 2015) نشان داد اعمال کم‌آبیاری بر روی رقم انگور سیراه در نواحی نیمه‌خشک برزیل بعد از تشکیل میوه تا مرحله تغییر رنگ میوه تأثیر منفی معنی‌داری بر تعداد خوشه تولیدی نداشت، در حالی‌که کارایی مصرف آب را بهبود بخشید. هرچند در مطالعات متعدد همبستگی بین تنش آبی و کارایی مصرف آب تاک به اثبات رسیده است، اما عوامل دیگری نیز در این مورد دخیل هستند. مدرانو و همکاران (Medrano *et al*., 2014) گزارش کردند که اثرات روش‌های کم‌آبیاری بر کارایی مصرف آب قطعی نیست و عوامل متعددی از جمله ژنوتیپ، محیط، خاک و مدیریت محصول می‌توانند در واکنش گیاه به کم‌آبیاری تأثیر بگذارند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، کاستن از حجم آب آبیاری به کاهش عملکرد محصول منجر گردید، اما آنچه مهم است کم بودن نرخ کاهش عملکرد در مقایسه با مقدار مصرف آب می‌باشد. کاهش عملکرد تاک با کاهش ۲۵ و ۵۰ درصد مصرف آب به‌ترتیب، ۵/۸ و ۲۷/۵ درصد بود. همچنین، با کاهش ۲۵ و ۵۰ درصدی مصرف آب، شاخص عملکرد به‌ترتیب، ۶/۱ و ۲۷/۳ درصد افت داشت. این در حالی است که کارایی مصرف آب تاک در واکنش به تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم‌آبیاری به‌ترتیب، ۳۴ و ۴۴/۵ درصد افزایش یافت. تیمار ۵۰ درصد کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل، وضعیت رطوبتی گیاه، رشد رویشی تاک، ابعاد حبه، اندازه و وزن خوشه و ویژگی‌های کیفی حبه انگور ترکمن ۴ شد و بنابراین، در شرایط اقلیمی ملایر برای این رقم قابل توصیه نمی‌باشد. از سوی دیگر، اثر منفی تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری بر صفات مذکور از نظر آماری معنی‌دار نبوده و این تیمار را می‌توان در راستای کاهش مصرف آب و استفاده بهینه از منابع آب در منطقه ملایر به انگورکاران توصیه نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از جناب آقای مهندس علیرضا براتی مسئول محترم ایستگاه تحقیقات انگور ملایر به خاطر کمک‌های بی‌دریغ در اجرای این پژوهش کمال قدردانی و تشکر را به عمل می‌آورند.

References

1. Alatzas, A., Theocharis, S., Miliordos, D.E., Kotseridis, Y., Koundouras, S., & Hatzopoulos, P. (2023). Leaf removal and deficit irrigation have diverse outcomes on composition and gene expression during berry development

of *Vitis vinifera* L. cultivar Xinomavro. *OENO One*, *57*(1), 289-305. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.1.7191

2. Alizadeh, A., & Kamali, G. (2008). Crops water requirements in Iran. Imam Reza University, Mashhad, Iran, 228 pages. (In Persian)
3. Arji, I., Mahnam, S., & Hadavi, I. (2019). Effect of reduced irrigation and pruning severity on quality and quantity of Yaghooti grape in the environmental condition of Sarpole Zehab, Kermanshah province. *Plant Production Technology*, *19*(1), 89-102. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22084/ppt.2017.9998.1568
4. Bassoi, L.H., Correia, J.S., Dos Santos, A.R.L., Silva, J.A., & Costa, B. (2015). Deficit irrigation in grapevine cv. Syrah during two growing seasons in the Brazilian semiarid. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*, *35*(3), 430-441. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agríc.v35n3p430-441/2015
5. Bassoi, L.H., de Melo Chaves, A.R., & Teixeira, R.P. (2021). Responses of 'Syrah' grapevine to deficit irrigation in the Brazilian semi-arid region. *Agricultural Water Management*, *258*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107186
6. Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K., & Nedunchezhian, N. (2006). Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, *44*(1), 151-154. https://doi.org/10.1007/s11099-005-0173-0
7. Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelcic, A., Lisjak, K., & Vanzo, A. (2021). Managing moderate water deficit increased anthocyanin concentration and proanthocyanidin galloylation in "Refosk" grapes in Northeast Italy. *Agricultural Water Management*, *246*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106684
8. DeGaris, K.A., Walker, R.R., Loveys, B.R., & Tyerman, S.D. (2015). Impact of deficit irrigation strategies in a saline environment on Shiraz yield, physiology, water use and tissue ion concentration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *21*(3), 468-478. https://doi.org/10.1111/ajgw.12151
9. Di Vaio, C., Cirillo, C., Boselli, M., & Masi, E. (2001). Dry matter accumulation and partitioning of Cabernet Sauvignon pot-grown vines under different water regimes. *Advanced in Horticulture Science*, *15*, 25-30.
10. Doulati Baneh, H., & Nourjou, A. (2008). The effect of different levels of irrigation on the yield and quality of six grape varieties. Final report of the research project. Agricultural Research and Education Organization, 29 Pages. (In Persian)
11. Doulati Baneh, H., & Nourjou, A. (2012). Effect of deficit irrigation on quantitative and quality traits of fruit and water productivity of three grapevine cultivars. *Seed and Plant Production*, *2-27*(4), 435-450. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110447
12. Duan, B., Ren, Y., Zhao, Y., Merkeryan, H., Su-Zhou, C., Li, Y., Mei, Y., & Liu, X. (2021). An adequate regulated deficit irrigation strategy improves wine astringency perception by altering proanthocyanidin composition in Cabernet Sauvignon grapes. *Scientia Horticulturae*, *285*(110182), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110182
13. Du, T.S., Kang, S.Z., Zhang, J.H., Li, F.S., & Yan, B.U. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, *95*, 659-668. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017
14. Edwards, E.J., & Clingeleffer, P.R. (2013). Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *19*, 261-276. https://doi.org/10.1111/ajgw.12027
15. Emdad, M. (2017). Deficit irrigation in the form of partial root-zone drying; a solution to increase the water use efficiency in orchards. Soil and Water Research Institute, publication No. 52583, 13 pages. (In Persian)
16. Fattahi-Naghani, F., Ghobadinia, M., Mohammadkhani, A., & Nori Emamzadeie, M. (2019). Effect of irrigation management (system type and water stress) on yield and physiological indices of grapes (case study: Naghang region). *Journal of Water and Soil*, *32*(6), 1069-1080. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JSW.V32I6.67733
17. Herrera, J.C., Bucchetti, B., Sabbatini, P., Comuzzo, P., Zulini, L., Vecchione, A., Peterlunger, E., & Castellarin, S.D. (2015). Effect of water deficit and severe shoot trimming on the composition of *Vitis vinifera* L. Merlot grapes and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, *21*, 254-265. https://doi.org/10.1111/ajgw.12143
18. Jolaini, M. (2006). Investigation of the effect of drip irrigation methods and different levels of water on yield and water use efficiency of grape. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *7*(28), 69-78. (In Persian with English abstract)
19. Ju, Y., Yang, B., He, S., Tu, T., Min, Z., Fang, Y., & Sun, X. (2019). Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines. *Plant Physiology and Biochemistry*, *135*, 469-479. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.013
20. Kaboli, S., Hekmatzadeh, A.A., Darabi, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theoretical and Applied Climatology*, *144*, 507-520. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03553-9
21. Kirnak, H., Kaya, C., Tas, I., & Higgs, D. (2001) The influences of water deficit on vegetative growth, physiology,

fruit yield and quality in eggplants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, *27*(3-4), 34-46.

22. Lizama, V., Perez-Alvarez, E.P., Intrigliolo, D.S., Chirivella, C., Alvarez, I., & Garcia-Esparza, M.J. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: II. Wine, skins, seeds, and grape aromatic composition. *Agricultural Water Management*, *256*(107078), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107078
23. Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: a review. *Science of the Total Environment*, *548-549*, 236-251. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022
24. Martinez-Moreno, A., Perez-Alvarez, E.P., Intrigliolo, D.S., Miras-Avalos, J.M., Lopez-Urrea, R., Gil-Munoz, R., Lizama, V., Garcia-Esparza, M.J., Alvarez, M.I., & Buesa, I. (2023). Effects of deficit irrigation with saline water on yield and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Monastrell. *Irrigation Science*, *41*, 469-485. https://doi.org/10.1007/s00271-022-00795-x
25. Ma, X., Han, F., Wu, J., Ma, Y., & Jacoby, P.W. (2023). Optimizing crop water productivity and altering root distribution of Chardonnay grapevine (*Vitis vinifera* L.) in a silt loam soil through direct root-zone deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *277*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108072
26. Medrano, H., Tomas, M., Martorell, S., Escalona, J.M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., & Bota, J. (2014). Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 499-517. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z
27. Miras-Avalos, J.M., & Intrigliolo, D.S. (2017). Grape composition under abiotic constrains: water stress and salinity. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1-8. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00851
28. Mousavi, A., Ardalan, A., Takian, A., Ostadtaghizadeh, A., Naddafi, K., & Massah Bavani, A. (2020). Climate change and health in Iran: a narrative review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *18*(9676), 1-12. https://doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3
29. Perez-Alvarez, E.P., Intrigliolo Molina, D.S., Vivaldi, G.A., Garcia-Esparza, M.J., Lizama, V., & Alvarez, I. (2021). Effects of the irrigation regimes on grapevine cv. Bobal in a Mediterranean climate: I. Water relations, vine performance and grape composition. *Agricultural Water Management*, *248*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106772
30. Romero, P., & Martinez-Cutillas, A. (2012). The effects of partial root-zone irrigation and regulated deficit irrigation on the vegetative and reproductive development of field-grown Monastrell grapevines. *Irrigation Science*, *30*, 377-396. https://doi.org/10.1007/s00271-012-0347-z
31. Romero, P., Munoz, R.G., Fernandez-Fernandeza, J.I., del Amor, F.M., Martinez-Cutillasa, A., & Garcia-Garcia, J. (2015). Improvement of yield and grape and wine composition in field-grown Monastrell grapevines by partial root zone irrigation, in comparison with regulated deficit irrigation Pascual. *Agricultural Water Management*, *149*, 55-73. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.018
32. Santesteban, L.G., Miranda, C. & Royo J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo. *Agricultural Water Management*, *98*, 1171-1179. http://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.02.011
33. Santesteban, L.G., Miranda, C., Urrestarazu, J., Loidi, M., & Royo, J.B. (2017). Severe trimming and enhanced competition of laterals as a tool to delay ripening in Tempranillo vineyards under semiarid conditions. *Oeno One*, *51*(2), 191-203. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1583
34. Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L., & Guo, J. (2023). Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, *15*(2887), 1-15. https://doi.org/10.3390/su15042887
35. Tong, X., Wu, P., Liu, X., Zhang, L., Zhou, W., & Wang, Z. (2021). A global meta-analysis of fruit tree yield and water use efficiency under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 260(107321):1-8. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107321
36. Uriarte, D., Intrigliolo, D.S., Mancha, L.A., Valdes, E., Gamero, E., & Prieto, M.H. (2016). Combined effects of irrigation regimes and crop load on Tempranillo grape composition. *Agricultural Water Management*, *165*, 97-107. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.11.016
37. Valdes, M.E., Talaverano, M.I., Moreno, D., Prieto, M.H., Mancha, L.A., Uriarte, D., & Vilanova, M. (2019). Effect of the timing of water deficit on the must amino acid profile of Tempranillo grapes grown under the semiarid conditions of SW Spain. *Food Chemistry*, *292*, 24-31. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.046